

В соответствии со схемой 1 на коллекторе сети дождевой канализации устанавливается разделительная камера. При превышении предельного значения расхода поток воды через перегородку разделительной камеры поступает в регулирующий резервуар. Опорожнение резервуара производится в участок сети за разделительной камерой и осуществляется погружным насосом с небольшим постоянным расходом, не превышающим расчетный расход в сети после разделительной камеры.

Система управления работой насосов обеспечивает автоматическое включение и отключение, автоматический ввод резервных насосов. Для защиты от засорения насосных агрегатов грубыми механическими примесями регулирующий резервуар оборудуется мусоросборной корзиной или решеткой.

По схеме 2 трубопровод, входящий в регулирующий резервуар, переходит в донный лоток, пропускная способность которого принимается равной пропускной способности выходящего трубопровода, т. е. предельному расходу, не сбрасываемому в резервуар. При превышающем предельное значение расходе вода заполняет лоток и переливается в регулирующий резервуар.

Согласно схеме 3 на коллекторе сети дождевой канализации устанавливается разделительная камера, из которой поток воды с расходом, превышающим предельное значение, поступает в регулирующий резервуар, опорожняющийся по трубопроводу меньшего диаметра в участок сети за разделительной камерой. Для реализации схемы 3 требуется значительное заглубление отводящего коллектора.

Мероприятия по модернизации и реконструкции систем дождевой канализации необходимо проводить с учетом адаптации к климатическим изменениям, проводя планирование на основе следующих сценариев:

- разработки стратегий, учитывающих потенциальные изменения в климате и их влияние на системы дождевой канализации;
- создания систем, которые могут адаптироваться к изменяющимся условиям, например, возможности расширения или модификации существующих конструкций.

Выводы:

1 Климатические изменения оказывают значительное влияние на работу систем дождевой канализации, создавая новые вызовы для городских инфраструктур. Адаптация и модернизация этих систем становятся необходимыми мерами для обеспечения их эффективного функционирования в современных условиях. Применение инновационных подходов и технологий позволит не только снизить риски затоплений, но и создать более устойчивую и безопасную городскую среду.

2 Модернизация систем дождевой канализации в условиях изменения климата – это не просто необходимость, а вопрос устойчивого развития городов. Интеграция современных технологий и использование зеленой инфраструктуры обеспечат создание более устойчивой и адаптивной системы управления поверхностными сточными водами.

УДК 628.196

## **КОАГУЛЯНТЫ ИЗ ОТХОДОВ ВОДОПОДГОТОВКИ**

*М. С. ОСИНИН*

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск*

Водоподготовка на промышленных объектах генерирует значительные объемы осадков, содержащих железо и алюминий, которые могут быть использованы в качестве сырья для получения коагулянтов. Коагулянты играют важную роль в процессах очистки сточных вод, способствуя осаждению загрязняющих веществ. Однако использование чистых химических реагентов для их производства является дорогостоящим и ресурсоемким. Поэтому переработка отходов водоподготовки с целью извлечения из них железа и алюминия для получения коагулянтов представляет собой перспективное направление, позволяющее снизить затраты на производство и минимизировать объем отходов.

Цель данной работы заключается в исследовании процессов выщелачивания железа и алюминия из отходов водоподготовки с использованием соляной и серной кислот. Рассматриваются основные параметры процесса, такие как концентрация кислоты, время выщелачивания и эффективность извлечения элементов. На основе полученных данных разработаны модели, позволяющие оптимизировать процесс выщелачивания и получить качественные коагулянты.

Для исследования были выбраны три типа осадков: железосодержащие осадки коагуляции, алюминийсодержащие осадки коагуляции и осадки, образующиеся при фильтрации вод в процессах обезжелезивания. Состав осадков, полученных с ТЭЦ в городах Светлогорске и Минске, показывает, что они содержат в основном карбонат кальция и гидроксид железа с незначительными примесями кремния и магния. Алюминийсодержащие осадки характеризуются гомогенной массой с включениями белого цвета и содержат преимущественно гидроксиды железа и алюминия, а также примеси кремния, кальция и марганца. Эти осадки также были получены с различных ТЭЦ для сравнения их состава и выщелачиваемости.

Основной задачей исследования было извлечение железа и алюминия из осадков с помощью кислот. Для этой цели использовались две кислоты: соляная (HCl) и серная (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Эти кислоты взаимодействуют с осадками, переводя металлы в растворимую форму в виде хлоридов и сульфатов.

Экспериментальные данные показали, что максимальная эффективность выщелачивания достигается при концентрации соляной кислоты 5 % и времени обработки около 30 минут. При этом происходит практически полное растворение осадков, что подтверждается уменьшением их массы. Разработанная модель процесса выщелачивания демонстрирует высокую точность (коэффициент детерминации 0,953), что позволяет прогнозировать потери массы осадков при различных условиях.

При использовании серной кислоты выщелачивание железа сопровождается образованием нерастворимого сульфата кальция (CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O), что приводит к увеличению массы осадка и снижению эффективности процесса. Для минимизации этого эффекта рекомендуется уменьшение размера частиц осадка. Максимальная эффективность выщелачивания при использовании серной кислоты достигается при концентрации кислоты 7,5–15 % и времени обработки не менее 45 минут.

Процесс выщелачивания алюминия из алюминийсодержащих осадков также осуществляется с использованием соляной и серной кислот. Аналогично железосодержащим осадкам, максимальная эффективность выщелачивания достигается при концентрации соляной кислоты до 25 % и времени обработки около 50 минут. Разработанная модель также имеет высокий коэффициент детерминации (0,943), что свидетельствует о высокой точности прогнозов.

При использовании серной кислоты происходит образование сульфатов алюминия и железа, что сопровождается потерей массы осадков. Максимальная эффективность процесса достигается при концентрации серной кислоты 9–13 % и времени выщелачивания около 50 минут.

После процесса выщелачивания были получены коагулянты, содержащие хлориды и сульфаты железа и алюминия. Для оценки эффективности полученных коагулянтов в процессах очистки сточных вод были проведены сравнительные испытания с товарными коагулянтами, такими как хлориды и сульфаты железа и алюминия. Основные параметры для оценки эффективности включали остаточное содержание железа и алюминия в воде, сухой остаток, оптимальную дозу коагулянта и значения pH.

В результате испытаний было установлено, что коагулянты, полученные в результате выщелачивания, обладают эффективностью, сопоставимой с коммерческими аналогами. Например, коагулянт wAlFe-Cl, полученный на основе хлоридов алюминия и железа, показал остаточное содержание железа менее 0,01 мг/л и алюминия 0,15 мг/л при оптимальной дозе коагулянта и pH 7,96, что сопоставимо с товарным FeCl<sub>3</sub>, который показал аналогичные результаты (0,01 мг/л Fe и 0,15 мг/л Al при pH 7,91). Коагулянты на основе сульфатов, такие как wAlFe-SO<sub>4</sub>, также показали хорошие результаты. Остаточное содержание железа в воде после их применения составило 0,67 мг/л, что немного выше по сравнению с товарным Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, который показал менее 0,01 мг/л Fe. Однако при этом эффективность коагуляции и осаждения загрязнений была высокой, особенно при использовании в сочетании с другими реагентами. Испытания показали, что комбинированное использование коагулянтов на основе хлоридов и сульфатов с товарными реагентами, такими как NaAlO<sub>2</sub>, позволяет достичь еще более высоких результатов. Например, при комбинации wFeOOH-Cl с NaAlO<sub>2</sub>

остаточное содержание железа составляло менее 0,01 мг/л, а алюминия – 0,03 мг/л при рН 8,08, что даже превышает показатели товарных реагентов.

Проведенное исследование показало, что отходы водоподготовки могут быть эффективно использованы для получения коагулянтов путем выщелачивания железа и алюминия с помощью соляной и серной кислот. Максимальная эффективность выщелачивания достигается при концентрации кислоты 5–25 % и времени обработки 30 минут.

#### Список литературы

- 1 **Романовский, В. И.** Сравнительный анализ методов очистки сточных вод от красителей / В. И. Романовский, В. В. Лихавицкий, М. В. Пилипенко // *Вода Magazine*. – 2016. – № 12 (112). – С. 54–58.
- 2 **Пилипенко, М. В.** Железо-лантан-содержащие фотокатализаторы из осадков очистки промывных вод фильтров обезжелезивания / М. В. Пилипенко, И. Ю. Козловская, В. И. Романовский // *Вестник БрГТУ. Сер. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология*. – 2022. – № 1 (127). – С. 42–44.
- 3 **Петров, О. А.** Применение суперкавитирующих аппаратов для обработки отходов в жидких средах / О. А. Петров, В. И. Романовский // *Вестник БрГТУ. Сер. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология*. – 2015. – № 2 (92). – С. 82–84.
- 4 **Романовский, В. И.** Материалы для очистки сточных вод на основе отработанных синтетических ионитов / В. И. Романовский, В. Н. Марцуль // *Ресурс- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии : материалы докл. междунар. науч.-техн. конф. БГТУ, Минск, 19–20 ноября 2008 г. / Белорус. гос. техн. ун-т; редкол. : И. М. Жарский [и др.]. – Минск, 2008. – С. 141–142.*
- 5 **Петров, О. А.** Применение суперкавитирующих аппаратов для обработки ионитов / О. А. Петров, В. И. Романовский // *Новейшие достижения в области импортозамещения в химической промышленности и производстве строительных материалов : материалы докл. междунар. науч.-техн. конф. БГТУ, Минск, 25–27 ноября 2009 г. / Белорус. гос. техн. ун-т; редкол. : И. М. Жарский [и др.]. – Минск, 2009. – С. 123–126.*
- 6 **Моняк, Т. М.** Анализ перспектив использования отходов гальванических производств / Т. М. Моняк, Л. В. Кульбицкая, В. И. Романовский // *Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. Ф. Строительство. Прикладные науки*. – 2020. – № 16. – С. 96–102.
- 7 **Романовский, В. И.** Проблемы утилизации отходов водоподготовки и очистки сточных вод в Беларуси / В. И. Романовский, А. А. Федоренчик, А. Д. Гуринович // *Вестник БрГТУ. Сер. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология*. – 2011. – № 2 (68). – С. 66–69.
- 8 **Куличик, Д. М.** Кислотное выщелачивание железа из железосодержащих осадков станций обезжелезивания / Д. М. Куличик, В. И. Романовский, В. В. Лихавицкий // *Вестник БрГТУ. Сер. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология*. – 2019. – № 2. – С. 52–54.
- 9 **Элементный состав и фазовый состав гальванических шламов, осадков очистных сооружений машиностроительных и приборостроительных предприятий Республики Беларусь / В. Н. Марцуль [и др.] // *Природные ресурсы*. – 2013. – № 1. – С. 113–118.**
- 10 **Кислотное выщелачивание железа из осадков коагуляции природных вод / М. С. Осинин [и др.] // *Вестник БрГТУ. Сер. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология*. – 2019. – № 2. – С. 50–52.**

УДК 628.196

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ КРАСИТЕЛЕЙ

*М. В. ПИЛИПЕНКО*

*РУП «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов», г. Минск, Республика Беларусь*

Сложность очистки окрашенных сточных вод красильно-отделочных производств связана с тем, что органические загрязнения (красители, ПАВ и др.) являются биохимически стойкими соединениями и находятся в стоках главным образом в растворенном состоянии. Для обесцвечивания красителей и минерализации других органических загрязнений требуется глубокая деструкция их молекул, так как они имеют достаточно высокую молекулярную массу [1–5]. После предварительной очистки на локальных очистных сооружениях практически никогда не достигаются нормы сброса по ХПК, для чего сточные воды часто разбавляют чистой водой.

Анализируя используемые на практике и в исследовательских целях методы очистки сточных вод, их можно разделить на три группы. В соответствии с существующими публикациями распределение методов очистки сточных вод красильно-отделочных производств выглядит следующим образом (рисунок 1).